

## Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en Astronomía

Gómez Castaño, José <sup>(1)</sup>, Mejuto, Javier <sup>(2)</sup>, Rodríguez Caderot, Gracia <sup>(3)</sup>, Sánchez de Miguel, Alejandro <sup>(4)</sup>, Zamorano Calvo, Jaime <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Jefatura de Normalización y Nuevos Desarrollos, Dirección de Gestión de Red e Innovación, ADIF, [jgomezc@adif.es](mailto:jgomezc@adif.es)

<sup>(2)</sup> Departamento de Matemática Aplicada, Universidad Complutense de Madrid, [jmejugon@fis.ucm.es](mailto:jmejugon@fis.ucm.es)

<sup>(3)</sup> Departamento de Astronomía y Geodesia, Facultad de Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid, [grc@mat.ucm.es](mailto:grc@mat.ucm.es)

<sup>(4)</sup> Departamento de Astrofísica, Facultad de CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid [alejandrosanchezmiguel@fis.ucm.es](mailto:alejandrosanchezmiguel@fis.ucm.es)

<sup>(5)</sup> Departamento de Astrofísica, Facultad de CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid, [jzamorano@fis.ucm.es](mailto:jzamorano@fis.ucm.es)

### RESUMEN

*Los ámbitos en los que los SIG tienen aplicación, crecen cada día. En esta comunicación presentamos varios trabajos desarrollados por diversos grupos de la Universidad Complutense de Madrid, en los que se han aplicado estas técnicas a estudios astronómicos. Aunque por parte del Jet Propulsion Laboratory (JPL) se han definido ya algunos sistemas de referencia planetarios y se han comenzado a poner las bases para los SIG en otros planetas y satélites, es un campo totalmente nuevo.*

*En este trabajo se quieren mostrar las capacidades de análisis de las herramientas disponibles en software libre y cómo aplicarlas a diversos ámbitos de la Astronomía, como calidad del cielo (Cielo Oscuro), cartografía planetaria y Arqueoastronomía. Para ello se muestran casos prácticos en los que se han aplicado técnicas GIS a un campo diferente como la Astronomía. Concretamente se muestra el estudio sobre Arqueoastronomía llevado a cabo en los yacimientos de Perdigoes y Moreiros, en el sur de Portugal, y el estudio sobre Cielo Oscuro.*

*Palabras clave: SIG, Astronomía, Cielo Oscuro, Arqueoastronomía, Arqueología, Planetaria .*

### ABSTRACT

*The areas in GIS application, grow every day. In this paper we present several works performed by various groups of the Universidad Complutense de Madrid, in which these techniques have been applied to astronomical studies. This is a new field and a new tool which can be used to interpret astronomical data.*

*In this paper we want to show the capabilities of analysis tools available in free software and how to apply to various areas of astronomy, such as quality of the sky (Dark Sky), global mapping and Archaeoastronomy. This will show case studies in which GIS techniques have been applied to a different field as astronomy. Specifically, the study shows Archaeoastronomy held in deposits and Moreiros Perdigoes, in southern Portugal, and the study of Dark Sky.*

**Key words:** Astronomy, Dark Sky, Archaeoastronomy, Archaeology, Planetary.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se utilizan desde hace mucho tiempo en diversas áreas científicas relacionadas con la Tierra. En este trabajo conjugamos dos mundos que en la mayoría de los casos, se estudian por separado. Los Sistemas de Información Geográfica y la Astronomía.

En este trabajo queremos dar una visión general de las posibilidades que aportan los SIG en un terreno que no es habitualmente el suyo pero donde estas herramientas han demostrado mucho potencial. Para ello hemos utilizado el excelente software libre que está a nuestra disposición.

En una primera parte, abordaremos las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs), su uso y componentes, para en una segunda, tratar qué Efemérides Astronómicas son útiles y cómo pueden cruzarse con esta Información Geográfica aplicada a diversas partes de la Astronomía para obtener resultados reales. Como ejemplos de uso se mostrarán aplicaciones de los SIG a la cartografía planetaria, la contaminación lumínica y la arqueoastronomía.

Una IDE la componen un conjunto de tecnologías que incluyen datos y atributos geográficos, junto a servicios que permiten la visualización de esta cartografía y su integración con otros sistemas. El objetivo es compartir de forma eficaz la Información Geográfica para evitar duplicidades y garantizar el uso de un conjunto de datos geográficos básicos, permitiendo integrar estas fuentes, mantenidas por diferentes organismos, con cualquiera otras.

Por lo tanto, se trata de algo más que Información Geográfica (IG) almacenada en un GIS tradicional. El que se pueda tener acceso desde Internet a esta IG y poder tratarla junto a otras fuentes de datos, es donde reside el potencial de esta tecnología.

## SERVICIOS OFRECIDOS POR UNA IDE

En este trabajo hemos utilizado parte de los servicios proporcionados por una IDE tradicional. Estos son un estándar definido internacionalmente por el Open Geospatial Consortium (OGC), y a continuación se describen algunos de ellos, aunque cada día se definen nuevos servicios que se pueden encontrar en la web del OGC:

El uso de estos servicios lo hemos orientado hacia dos vertientes. Por una el uso de fuentes de datos para nuestros análisis, y por otro para publicar nuestros propios resultados.

#### **WMS (Web Map Service)**

Es un estándar que permite visualizar Información Geográfica a través de internet. Proporciona una imagen del mundo real para un área solicitada. La fuente de esta imagen puede ser un fichero de datos de un GIS, de una Base de Datos espacial, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite, etc.

Está organizada en una o más capas, que pueden mostrarse u ocultarse una a una, pudiéndose consultar información relativa a elementos individuales del mapa. Permite superponer visualmente datos vectoriales, raster (gráficos), en diferente formato, con distinto Sistema de Referencia y Coordenadas y en distintos servidores, siempre devolviendo al usuario final una imagen rasterizada en un formato ampliamente usado como PNG, JPG o SVG.

Como formatos adicionales de publicación de estos datos tenemos geoRSS o KML. El primero es un formato extendido del conocido RSS. Todos hemos utilizado lectores de noticias para tenerlas centralizadas. El formato geoRSS añade información geográfica a las noticias, con lo que es posible posicionarlas automáticamente en un mapa. El formato KML se ha adoptado también como un estándar OGC y permite incluir una gran variedad de información junto a la geográfica necesaria para ser visualizada en clientes de todo tipo, incluido Google Earth.

#### **WFS (Web Feature Service)**

Es un estándar OGC que permite acceder y consultar todos los atributos de un elemento espacial, representado en modo vectorial, con una geometría descrita por un conjunto de coordenadas.

Los datos proporcionados están en formato GML, un estándar OGC que permite incluir en un XML la información geográfica. Un WFS permite no sólo visualizar la información tal y como permite un WMS, sino también consultarla y descargarla libremente, para tratarla por el cliente.

#### **Componentes de la IDE**

Para implementar estos servicios, se ha optado por una serie de herramientas basadas en software libre. Describiremos brevemente estos y que permiten el almacenamiento y distribución de la Información Geográfica.

- Base de Datos Espacial. Almacena los elementos que se representarán y sus atributos. Se ha optado por PostGIS.
- Servidor de mapas. Es un software que permite la publicación de la cartografía y ofrecer los servicios WMS y WFS a través de Internet. Habiéndose optado por GeoServer.
- Clientes pesados. Son aplicaciones tradicionales de escritorio que permiten el tratamiento de los datos geográficos. En este caso tenemos se están utilizando gvSIG y GRASS
- Clientes ligeros. Son aplicaciones, generalmente web, que permite la visualización y un pequeño tratamiento de los geográficos y su cruce con otras fuentes de datos. Las aplicaciones que se han ido creando utilizan la API de OpenLayers y Google Maps, dependiendo del proyecto.

## USOS EN ASTRONOMÍA

Las aplicación de esta tecnología en Astronomía viene dada por la necesidad de representar sobre la superficie terrestre algunos fenómenos astronómicos, o porque la posición del observador supone un dato imprescindible en la observación. De esta forma podemos aplicarla a un amplio espectro de actividades: Planificación de Observaciones, Cálculo de Efemérides, Reducción y Análisis de observaciones, Arqueoastronomía y análisis históricos, Cartografía Planetaria. A continuación se describen brevemente algunas aplicaciones en estos campos.

El tener disponible estos datos en formato vectorial, hace posible que se puedan consultar no solo de forma gráfica, sino que puedan ser utilizados por el resto de aplicaciones. Por ejemplo, se puede cruzar la información sobre eclipses para determinar las circunstancias locales para cualquier ubicación, usando software tradicional. Los datos gráficos se publican mediante servicios WMS y los vectoriales mediante WFS o WCS, e incluso por medio de servicios web SOAP convencionales.

La forma de consumir estos servicios es mediante clientes pesados y ligeros. En nuestro caso utilizamos el API JavaScript proporcionada por Open Layers, y clientes pesados como gvSIG y Quantum GIS. Los campos en los que estamos aplicando estas técnicas los veremos con un poco más de detalle.

### Planificación de observaciones

Todos hemos utilizado los Mapas del Servicio Geográfico del Ejército o del IGN para localizar los lugares a los que iríamos a observar. Estos se encuentran totalmente digitalizados y disponibles en la IDEE. Además de la información gráfica, está a nuestra disposición la posibilidad de cálculo de rutas, que nos proporcionan el camino más óptimo para llegar a un lugar. Un ejemplo de esto es la proyección de la trayectoria de la sombra de una ocultación asteroidal.

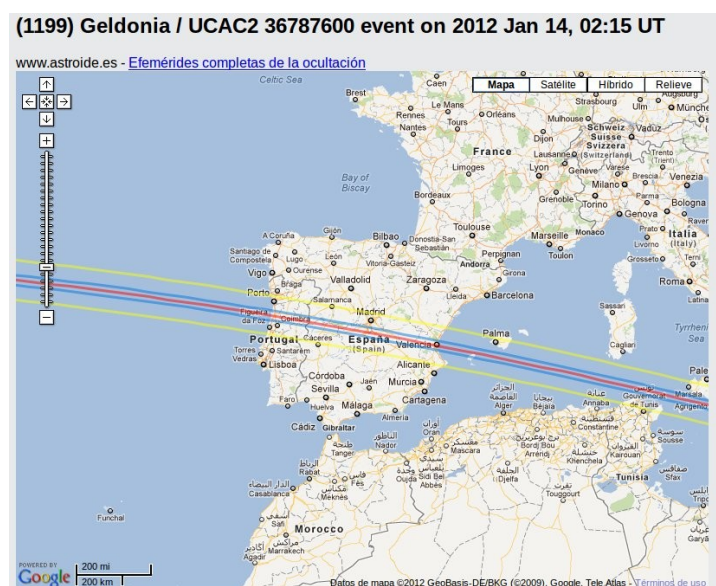


Figura 1: Aplicación web con la proyección de ocultaciones por asteroides.

En el caso de ocultaciones estelares, tanto rasantes por la luna como por asteroides, es muy importante disponer de unas efemérides lo más precisas posibles

de la trayectoria del fenómeno. Como es sabido, se produce un desplazamiento de la trayectoria en las ocultaciones rasantes, debido al azimut de la luna, siendo directamente proporcional a la altitud del lugar de observación.

Las efemérides de rasantes se calculan para una altitud 0, es decir, a nivel del mar. Para calcular la corrección se consulta directamente la capa de Modelo Digital del Terreno, se obtiene la elevación de cada punto de la trayectoria y se corrige directamente la trayectoria. De esta forma la línea recta de la trayectoria a nivel del mar se transforma en una línea quebrada en función de la altura del lugar que atraviesa, permitiendo elegir con mayor precisión la ubicación del lugar de observación.

En el caso de ocultaciones asteroidales, la forma más fácil de representarlas es trazar sobre el mapa las líneas central y los límites norte y sur, que equivalen al tamaño del asteroide. Además, se suelen dibujar los límites norte y sur de incertidumbre. En la figura se puede ver un ejemplo de esto, tomando como base las efemérides calculadas con el programa Occult. Se ha escrito un pequeño programa que convierte los datos tabulados en elementos espaciales, que son después dibujados sobre Google Maps.

Una fuente que se suele consultar a menudo son las imágenes de satélite proporcionadas por las agencias meteorológicas. Usando técnicas de georreferenciación, estas imágenes se pueden “ajustar” a una capa y mostrarse junto a cualquier otra. Estas imágenes se utilizan después para analizar la calidad de la atmósfera durante una observación. Al estar tomas en diferentes longitudes de onda, permiten conocer el estado de las nubes altas o la niebla.

### **Análisis de las mediciones de Cielo Oscuro**

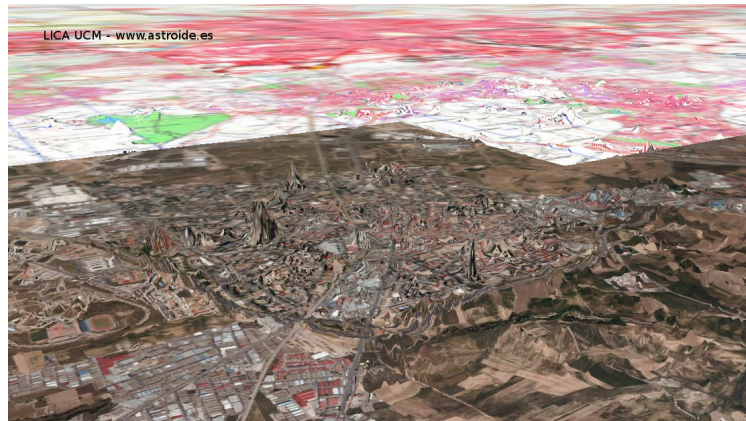
Las medidas que se llevan a cabo desde diferentes lugares para determinar la contaminación lumínica deben ser situadas con precisión en un punto geográfico. Las medidas, tanto visuales como digitales, realizadas con dispositivos SQM (Sky Quality Meter), se deben almacenar junto a la latitud y longitud desde la que fueron tomadas. Los primeros trabajos en este sentido se muestran en Cepero 2009 y Berenice, 2010.

No solo se trata de hacer una representación geográfica de las medidas. Aplicando técnicas GIS, se pueden llevar a cabo análisis más exhaustivos como pueden ser: Distancia a núcleos urbanos, pertenencia a municipios, influencia de la Luna (fase y altura), eliminación de medidas realizadas durante el crepúsculo. El objetivo final es la creación de una capa cartográfica que representa la distribución de medidas en una zona del territorio. En este caso, el análisis mediante análisis SFSQL (Simple Feature Standard Query Language) que proporcionan las Bases de Datos Espaciales, ofrece una herramienta muy potente.

Además de medidas desde el suelo, se ha llevado a cabo una tarea de análisis de imágenes satelitales. Concretamente se han analizado imágenes tomadas desde la Estación Espacial Internacional, desde 2008 hasta el presente. Especialmente se han analizado las tomadas en febrero de 2011 y marzo de 2012 de la zona de la Comunidad Autónoma de Madrid para llevar a cabo la calibración absoluta de las mismas. Los resultados se han publicado en Zamorano et al, 2011.

El objetivo de estos trabajos es realizar mapas detallados del consumo energético y de energía perdida al ser enviada a la atmósfera, como se ha hecho en Sánchez et al 2008, Sánchez 2007. En la figura 2 se muestra un modelo digital del terreno creado usando como Z las medidas de brillo de fondo de cielo y superponiendo las

ortofotografías para la zona de Fuenlabrada, al sur de Madrid. En ella se identifican las zonas más luminosas con las mayores elevaciones.



*Figura 2. MDE usando medidas SQM de la zona de Fuenlabrada*

Otra fuente de observaciones analizadas son las imágenes tomadas por la misión DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series (DMSP 2012). Las imágenes cubren un área que va desde los  $-65^{\circ}$  a los  $75^{\circ}$  de Latitud y  $-180^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  de Longitud, con una resolución de 30 segundos de arco por pixel. De ellas se ha eliminado la iluminación producida por la luna o el sol, así como las mediciones realizadas en zonas nubosas, al usarse diversos satélites y mediciones en órbitas diferentes. Las tomas fueron obtenidas por los siguientes satélites: F12 de 1992 a 1996, F14 de 1997 a 1999, F15 de 2000 a 2003 y F16 de 2004 a 2010. El conjunto de imágenes se ha publicado usando un cliente de los servicios WMS de NASA. (Gómez, J 2011)

### **Cartografía Planetaria**

Hasta ahora, la única cartografía planetaria de la que se dispone, son mapas en papel o digitalizados. Ya existen diferentes servidores WMS que están ofreciendo esta cartografía de forma que podemos incluirla en nuestros análisis. Estos servidores almacenan tanto la cartografía como información sobre accidentes planetarios en formato digital. Y no solo se trata de información tradicional. También está a disposición, capas como el modelo digital de elevaciones lunar, mapas de Marte y los satélites más importantes. Están disponibles varios códigos EPSG para definir los sistemas de coordenadas y proyecciones de trabajo para cada planeta. (Hare et al, 2006)

El punto de referencia de esta información es el U.S.G.S. Planetary GIS Web Server (PIGWAD). En él están disponibles los servicios WMS que permiten acceder la cartografía de varios planetas y satélites del sistema solar.



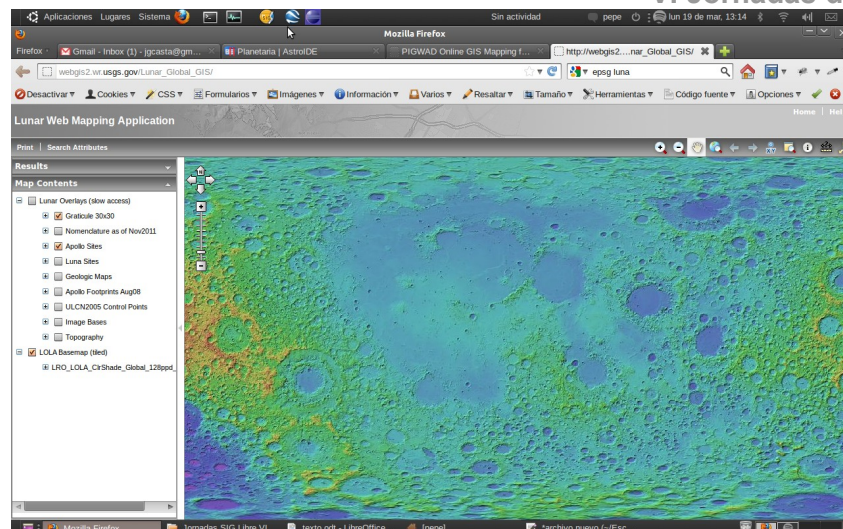


Figura 3. WMS del Lunar Web Mapping Application

En la figura 3 se puede ver un ejemplo de un cliente que usa cartografía lunar junto a datos que permiten identificar los cráteres lunares.

## Eclipses

Un tipo de observación que tradicionalmente ha tenido el apoyo de los mapas ha sido el seguimiento de eclipses, tanto de sol como de luna. En este caso se trata de unir efemérides astronómicas con cartografía. El objetivo final es proporcionar una capa con las efemérides necesarios para llevar a cabo las observaciones. Esta capa se puede añadir a cualquier visualizador. En la figura 4 aparece un ejemplo para el cálculo de las circunstancias locales del eclipse del 4 de enero de 2011.

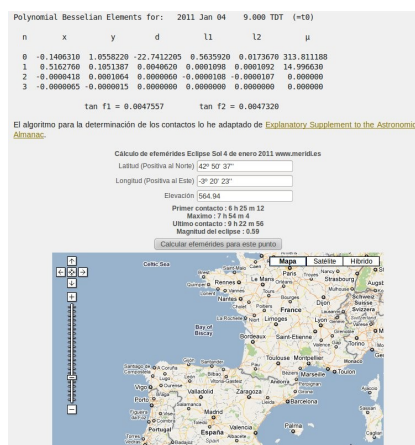


Figura 4. Trayectoria de un eclipse y cálculo de las circunstancias locales

El proceso consiste en calcular las efemérides que delimitan las zonas de eclipse y trazar sus coordenadas. También es posible calcular las Circunstancias Locales del eclipse, directamente usando las coordenadas del observador, a diferencia de las tablas que las listan para un conjunto de posiciones establecidas. Una forma de publicar estas efemérides es en formato geoRSS, como en el ejemplo.

Dado que es posible representar con gran precisión tanto la trayectoria de la sombra como las circunstancias locales para cualquier instante y lugar, es muy fácil utilizar estas técnicas para datación histórica. En muchos hechos históricos se hace referencia a la observación de un eclipse. Tomando la localización y los elementos

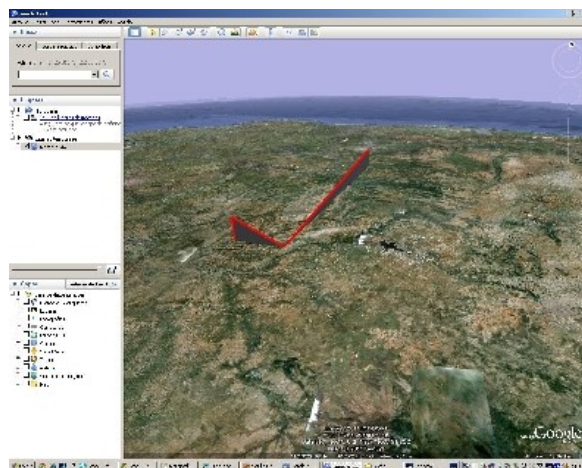
besselianos correspondientes al mismo, se acota la fecha a la que se refiere con gran precisión.

### **Meteoróides, estudio de fotografía en doble estación**

Hace tiempo que el grupo SPMN lleva a cabo observaciones de meteoróides en doble estación. Se trata de capturar la entrada de un meteoróide en la atmósfera desde dos lugares diferentes, registrándolo mediante imágenes de vídeo o fotográficas.

Para la planificación de dónde situar las estaciones de observación y hacia dónde apuntar los centros de las imágenes para conseguir el máximo rendimiento, es indispensable tener un buen conocimiento geográfico de la zona. Sobre estos mapas digitales, es sencillo cambiar las orientaciones o las ubicaciones teóricas y hacer los cálculos sobre ellos.

En el caso de la reducción de las observaciones, al capturarse las trayectorias, es posible hacer proyecciones que permitan conocer la zona más óptima para la búsqueda de restos del meteoróide.



*Figura 5. Representación de la entrada de meteoróide*

### **Arqueoastronomía e Historia**

La aplicación de la Arqueoastronomía a los yacimientos arqueológicos supone una nueva herramienta de gran valor, al verse de forma palpable la relación entre fenómenos astronómicos y elementos de la cultura estudiada. Queremos destacar la oportunidad que ofrece la IDE como medio para la publicación de este tipo de información, permitiendo el uso de los complejos cálculos astronómicos dentro de un ámbito arqueológico. (Gómez et al, 2011)

En arqueología los datos que se toman de los yacimientos, están almacenados en planos manuscritos, o en el mejor de los casos, en ficheros AutoCAD. Esto hace que sea difícil el acceso a ellos, encontrándose dispersos en los diferentes grupos que trabajan en el cada uno. El tratamiento digital es por tanto complicado, al tener que digitalizarse cada plano, en caso necesario. También se hace complicado acceder a ellos al tenerlos cada grupo de trabajo sin conexión con otros.

Como solución a esto, las IDE tienen una fácil aplicación en la investigación arqueológica. De forma sistemática, sobre cada yacimiento, se lleva a cabo una labor



de reconstrucción topográfica. Esta consiste en hacer un inventario de todos los elementos que aparecen en el yacimiento, junto con la ubicación que ocupa cada uno. El uso de una IDE, permite hacer un inventario digital de la información, con lo que su publicación a partir de formatos estándares antes descritos, permite que se puedan compartir. Toda la IDE está disponible a través de internet, lo que permite que diversos grupos de trabajo, puedan acceder a la información

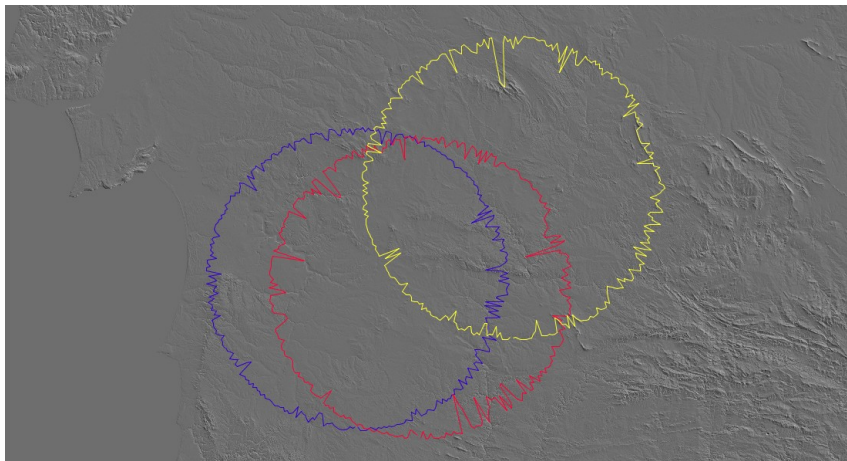
¿Cómo aplicar esto en común con datos astronómicos?. La solución proviene de utilizar los datos publicados por medio de la IDE arqueológica, por medio de clientes. Los servicios más útiles son el WMS y el WFS. Los datos astronómicos, los podemos consumir de los servicios antes descritos.

En una primera aproximación, los datos más utilizados son

- Orto Helíaco de las estrellas brillantes y los planetas, para la determinación de coincidencias con las alineaciones presentes en la cartografía.
- Datos de las circunstancias locales en eclipses de sol y luna, para la datación de fenómenos históricos
- Azimut sobre el horizonte de orto, ocaso y paso por el meridiano del Sol durante los Solsticios y Equinoccios

En el estudio de los Ortos Helíacos y Alineamientos, el objetivo de estos cálculos, es poder obtener unas efemérides que proporcionen los datos de Orto y Azimut de los objetos, pero observados en las épocas y lugares de los yacimientos arqueológicos. En estos yacimientos, se contrastan con los alineamientos existentes.

Como punto de partida, necesitamos tener cierto conocimiento sobre el perfil que se observa desde una posición determinada, en nuestro caso, el yacimiento. Para reconstruirlo, hemos utilizado un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) como base de la topografía. Para España estamos utilizando los productos MDT25 y MDT50 del IGN, y para el ejemplo que nos ocupa en este trabajo, la zona sur de Portugal, utilizamos el producto SRTM de la NASA. Este proporciona modelos para todo el planeta, y se acaba de publicar hace unos días, la versión 2 del mismo. Ambos productos proporcionan libre acceso a sus datos. A partir de estos modelos, se reconstruye el horizonte visible desde el lugar del yacimiento usando software como gvSIG junto a la extensión SEXTANTE. Para corregir este perfil geométrico debido a la distancia al observador e integrar los datos astronómicos, hemos desarrollado varios programas auxiliares.



*Figura 6. Horizonte visible desde varios yacimientos*

El siguiente paso consiste en determinar los puntos de salida y puesta del astro objeto de estudio. Esto implica a todos los cálculos astronómicos por lo que se hemos seguido el siguiente procedimiento:

- Aplicar la corrección por movimiento propio de la estrella. Las estrellas tienen un movimiento en el cielo
- Aplicar una corrección por precesión de la estrella. La precesión es debida al movimiento de cabeceo de la Tierra debido al fenómeno de Precesión de los Equinoccios, con un periodo de unos 25000 años. Este movimiento introduce variaciones en la posición de las estrellas, en función del momento de la observación.
- Determinar el momento del Orto Heliaco. Esto teniendo en cuenta el brillo de la estrella, su distancia angular al Sol
- Aplicar una corrección debida a la refracción atmosférica. Se produce un desplazamiento de la posición observada respecto a la real, debido a las condiciones atmosféricas del lugar. Estas no son conocidas en épocas remotas, pero se puede hacer una estimación aproximada.
- Calcular el Azimut del punto calculado.

Para implementar este procedimiento de forma que sea posible llevar a cabo los cálculos astronómicos y representar estos puntos sobre un mapa, hemos desarrollado un conjunto de librería de software. Estas permiten llevar a cabo cálculos para fechas remotas, hasta el 5000 a.c., con una precisión cercana 1 minuto de arco, más que suficiente para contrastarlo con observaciones visuales, que son las que podemos esperar en esas épocas.

Para los cálculos de precesión, hemos aplicado el procedimiento descrito por Gómez 2006, y los posteriormente descritos por Vondrák et al., 2011. Para las correcciones por refracción hemos utilizado el método descrito en Explanatory Supplement (USNO 1992). Como referencia para las posiciones estelares y movimientos propios, hemos utilizado el catálogo FK5. También se puede utilizar el Bright Star Catalogue ,para posiciones referidas al sistema de referencia J2000.0.

El último paso consistió en desarrollar una aplicación que generara un fichero en foormato Shapefile con los datos vectoriales obtenidos.

El resultado de este procedimiento es la generación de una capa SIG que se ha publicado de forma segura para el uso de los arqueólogos. De esta forma la complejidad de los cálculos astronómicos queda encapsulada y solo tienen que trabajar con las herramientas a las que están acostumbrados.

Un resultado completo se puede ver en Mejuto et al 2011



Figura 7. Superposición de SHP con cálculos de ortos heliacos en el 4000 a.c.

## CONCLUSIONES

Como se ha comprobado, la aplicación de técnicas SIG y el uso de las Infraestructuras de Datos Espaciales, es algo novedoso en Astronomía pero permite aplicar nuevas herramientas. Estas aportan una nueva perspectiva al tratamiento tradicional de los datos astronómicos. A través de los diferentes ejemplos mostrados en este trabajo,

## REFERENCIAS

- ◆ IDEE. [Www.idee.es](http://www.idee.es)
- ◆ Berenice Pila Díez (2010), "Mapa de brillo de fondo de cielo de la Comunidad de Madrid" (<http://eprints.ucm.es/11364/> )
- ◆ Cepero Rodríguez, Pablo (2009), "Mapa de contaminación lumínica de la UCM" (<http://eprints.ucm.es/12288/> )
- ◆ DMSP 2012 (<http://www.oso.noaa.gov/dmsp/>)
- ◆ Gómez Castaño, José, 2011 "Intercambio de datos sobre Cielo Oscuro y su publicación" (<http://www.meridi.es/astro/cielooscuro/evolucion.php>)
- ◆ Gómez Cataño, José,, Mejuto Javier, Rodríguez Caderot, Gracia, 2011 "Generación de una capa Astronómica para la IDE Arqueológica.

VI Jornadas de SIG Libre

Arqueoastronomía en el Sur de Portugal". II Jornadas Ibéricas de las Infraestructuras de Datos Espaciales, Barcelona 2011

- ◆ T. Hare, B. Archinal, L.Plesea, E. Dobinson and D. Curkendall, 2006 "STANDARDS PROPOSAL TO SUPPORT PLANETARY COORDINATE REFERENCE SYSTEMS IN OPEN GEOSPATIAL WEB SERVICES AND GEOSPATIAL APPLICATIONS" Lunar and Planetary Science XXXVII (2006)
- ◆ Mejuto, Javier, Gómez Castaño, José, Caderot Rodríguez, Gracia, 2011 "PLANTAS DE RECINTOS DE FOSSOS E COSMOLOGIAS NEOLITICAS: UMA ABORDAGEM PAISAGISTICA, ARQUEOASTRONOMICA E GEOFISICA, ESTUDIO ARQUEOASTRONOMICO", UCM
- ◆ Mejuto, J. , Carlos Valera ,Gómez Castaño, J,Rodríguez-Caderot ,G, Helmut Becker, 2011, "DITCHED ENCLOSURES IN SOUTHERN PORTUGAL: AN ARCHAEOASTRONOMICAL VIEW", SEAC Evora, 2011
- ◆ PIGWAD U.S.G.S. Planetary GIS Web Server (<http://webgis.wr.usgs.gov/>)
- ◆ Sánchez de Miguel, A. (2007) "Differential Photometry Study of the European Light Emission to the Space", in Starlight: A Common Heritage, Proceedings of the Starlight 2007 Conference, La Palma
- ◆ Sánchez de Miguel, A. & Zamorano, J. 2008 "Light pollution in Spain. An european perspective", "Highlights of Spanish Astrophysics V" Proceedings of the VIII Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society (SEA) held in Santander, July 7-11, 2008
- ◆ Vondrák, Capitane & Wallace New precession expresions, valid for long time intervals, Astronomy & Astrophysics manuscript . (2011)
- ◆ USNO . Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, University Science Books.(1992)
- ◆ Zamorano Calvo, Jaime y Sánchez de Miguel, Alejandro y Pascual Ramírez, Sergio y Gómez Castaño, José y Ramírez Moreta, Pablo y Challupner, Peter (2011) ISS nocturnal images as a scientific tool against Light Pollution. Informe LICA UCM (<http://eprints.ucm.es/12729/>)